

METODOLOGIA PARA AVALIAR O EFEITO DA TEMPERATURA EM TECIDOS ÓSSEOS

METHODOLOGY FOR ASSESS THE EFFECT OF TEMPERATURE IN BONE TISSUES

C. S. T. Sampaio¹, E. M. M. Fonseca², L. M. S. Barreira², J. M. Meireles²

¹ Tecnologia Biomédica, Instituto Politécnico de Bragança

² Escola Superior de Tecnologia e de Gestão, Instituto Politécnico de Bragança



RESUMO

Este trabalho tem como objetivo avaliar o efeito da temperatura no osso devido ao aquecimento provocado pelo processo de furação. Na colocação de implantes dentários por exemplo, as variáveis que interferem no processo de furação do osso são: a velocidade, o material, o diâmetro, o comprimento e a geometria da ponta da broca. Com este trabalho pretende-se verificar, experimental e numericamente, as variáveis que interferem no aquecimento da estrutura óssea. Para isso, são utilizados materiais compósitos com características similares ao osso cortical e trabecular, com diferentes densidades. A metodologia apresentada revela-se útil e diferenciadora de outros trabalhos, pois são utilizados materiais com características similares aos materiais in vivo. Os métodos experimentais utilizados em laboratório são baseados na termografia e termopares durante a furação dos diferentes materiais. Paralelamente, são utilizados modelos teóricos numéricos, com o recurso à técnica de elementos finitos, para a discussão de resultados.

ABSTRACT

This work aims to evaluate the effect of temperature on the bone due to heating caused by the drilling process. In the placement of dental implants for example, the variables that interfere in the drilling process of the bone are: the speed, the material, the diameter, length and geometry of the drill bit. With this paper we intend to verify, experimental and numerically, the variables that take part in the heating of the bone structure. For this purpose, composite materials with similar characteristics to the trabecular and cortical bone with different densities were used. The presented methodology proves to be useful and differentiated from other works, since they are used materials with similar characteristics to the materials in vivo. The experimental methods used in the laboratory are based on thermography and thermocouples during the drilling of different materials. At the same time, theoretical and numerical models were used using the finite elements technique for results discussion.

1. INTRODUÇÃO

A ciência e a tecnologia aplicadas à saúde têm por objetivo melhorar a qualidade de vida dos seres humanos. Vários estudos realizados *in vivo* e *in vitro* têm melhorado os avanços

que a ciência proporciona. Simultaneamente, novas técnicas aliadas ao desenvolvimento de modelos teóricos têm sido alvo de estudo possibilitando a criação de protótipos virtuais para validação de testes científicos.

Na área da implantologia dentária existem diversas variáveis que podem influenciar o desempenho da sua função. Esta área de interesse pressupõe o recurso a metodologias científicas válidas de forma a possibilitar a melhor qualidade no paciente. Na colocação de implantes dentários as variáveis que interferem no processo de furação do osso são: a velocidade, o material, o diâmetro, o comprimento e a geometria da ponta da broca (Fonseca et al. 2014; Fonseca et al. 2013; Monteiro et al. 2013). São vários os estudos realizados por médicos dentistas de forma a evitar efeitos nefastos sobre a estrutura óssea do paciente. Outros investigadores têm-se associado à análise deste assunto, pelo que é de interesse elevado perceber a ocorrência da necrose óssea aquando do processo de furação.

A pesquisa de Hillery apoiou as conclusões anteriores de Lundskog destacando que a necrose pode ser induzida se o osso for exposto mais de 30s a temperaturas superiores a 50°C (Hillery et al. 1999). Em geral, a literatura indica que se a temperatura sobe acima de 55°C, num período superior a 1,5 minutos, serão necessárias várias semanas para que um novo processo de regeneração óssea ocorra (Sousa 2009).

Uma solução, comumente aplicada no estudo de processos de furação, para a redução de gastos e promover a realização de experiências mais conclusivas, é o uso de simulações numéricas.

O cálculo do campo de temperatura durante processos de furação através de modelos, numérico ou analítico, fornecem uma boa indicação para a escolha dos parâmetros de corte de forma a diminuir o calor gerado, reduzindo o custo experimental. Porém, como o processo de furação depende de inúmeras variáveis, externas e internas, o uso de hipóteses restritivas torna-se bastante comum. Esse procedimento, entretanto, dificulta uma formulação realística. O conhecimento do fluxo de calor gerado na interface representa a maior dificuldade no uso dessas técnicas (Sousa 2009).

Este trabalho será desenvolvido em contexto experimental e numérico,

utilizando-se materiais compósitos com características similares ao osso cortical e trabecular, com diferentes densidades. A natureza desta metodologia revela-se útil e diferenciadora de outros trabalhos, uma vez que serão utilizados materiais com características similares aos materiais *in vivo*. Paralelamente, a validação dos modelos experimentais concebidos será efetuada com modelos teóricos numéricos utilizando a técnica de elementos finitos.

2 MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Material

Neste estudo e para a parte experimental em laboratório foram utilizados quatro blocos da Sawbones, um computador, um sistema de aquisição de dados MGC Plus, termopares tipo K, uma câmara de filmar, uma câmara termográfica e uma máquina CNC, programada para a furação dos blocos. As brocas utilizadas pela CNC na componente experimental possuem um ângulo de ponta de 118°, uma vez que na literatura é afirmado que as temperaturas mais baixas foram geradas por brocas com este valor (Basiaga et al. 2011). Os quatro blocos da Sawbones possuem propriedades similares ao osso (cortical C ou trabecular T) com diferentes densidades (+D e -D), Fig. 1. Relativamente às densidades dos materiais, o material cortical mais denso possui 800 kg/m³ e o menos denso 80 kg/m³. Quanto ao trabecular o mais denso possui uma densidade de 320 kg/m³ e o menos denso 120 kg/m³.



Fig. 1 – Blocos da Sawbones (C+D,C-D,T+D,T-D).

2.2. Componente Experimental

Para a componente experimental foi elaborado um desenho de definição em SolidWorks, com todas as indicações a serem utilizadas durante o processo de furação na máquina CNC, Fig. 2 Em cada bloco, e num dos lados, são efetuadas 5

furações simples com uma broca de 4mm (Lado A) e no oposto (Lado B) são efetuadas 5 furações mas para diferentes passagens de brocas, nomeadamente 2, 3 e 4mm.

Na Fig. 2 apresenta-se um desenho esquemático dos lados dos blocos (Lado A e B) onde a, b e c representam os furos laterais para a colocação de termopares e f1, f2, f3, f4 e f5 representam a ordem da furação durante o processo.

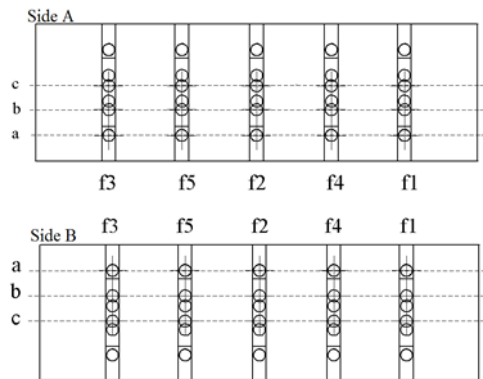


Fig. 2 – Esquema dos lados dos blocos.

Para analisar e registar a temperatura da broca durante o processo de furação recorreu-se à utilização de uma câmara termográfica. Para o registo dos valores da temperatura nos diferentes materiais e em diferentes posições recorreu-se à utilização de termopares.

Na Fig. 3 é possível visualizar o registo termográfico para cada material.

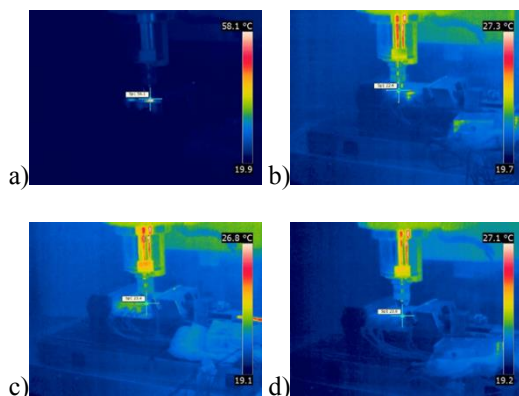


Fig. 3 – Imagens termográficas: a) C+D; b) C-D; c) T+D; d) T-D.

2.2.1. Temperatura na broca

O registo dos valores das temperaturas foi efetuado na saída da broca à superfície do bloco e após a furação, através da

utilização da câmara termográfica. Na Tabela 1, encontram-se o número de amostras, a média e o desvio-padrão dos valores das temperaturas obtidas com uma única passagem de furação e com a broca de 4mm nos diferentes materiais.

Tabela 1: Temperaturas da broca na furação única (Lado A), função de (N), M \pm DP.

Material	Diâmetro da Broca (mm), ϕ 4
C+D	(4) 72,43 \pm 1,54
C-D	(4) 25,30 \pm 2,26
T+D	(4) 35,70 \pm 1,02
T-D	(5) 23,90 \pm 0,92

N=nº de amostras; M=Média; DP=Desvio-Padrão.

Analisando os valores da média na Tabela 1, verifica-se que a temperatura mais alta registou-se na broca na furação do material C+D, seguindo-se o material T+D, C-D e por fim o T-D. Quanto mais denso é o material, maior o valor da temperatura. Contudo o material T-D possui uma densidade superior ao material C-D, mas como o primeiro possui uma estrutura esponjosa há uma maior libertação de temperatura. Relativamente aos valores do desvio-padrão, o maior valor registou-se no material C-D.

Na Tabela 2 encontra-se o número de amostras, a média e o desvio-padrão dos valores das temperaturas nas diferentes brocas durante a furação dos materiais.

Tabela 2: Temperaturas das brocas nas três fases de furação (Lado B), função de (N), M \pm DP.

Material	Diâmetro da Broca (mm)		
	ϕ 2	ϕ 3	ϕ 4
C+D	(5) 45,34 \pm 2,18	(5) 43,56 \pm 2,71	(5) 56,52 \pm 2,32
C-D	(5) 22,44 \pm 0,19	(5) 22,58 \pm 0,51	(5) 23,24 \pm 0,77
T+D	(5) 25,52 \pm 1,24	(5) 26,10 \pm 1,35	(5) 28,00 \pm 1,62
T-D	(5) 23,20 \pm 0,65	(5) 23,34 \pm 0,98	(5) 24,96 \pm 1,10

Nota: N=nº de amostras; M=Média; DP=Desvio-Padrão.

De uma forma geral, analisando a Tabela 2, é possível afirmar que a temperatura mais elevada regista-se quando se utiliza uma broca com 4mm.

Analisando os valores da média verifica-se que para o material “C+D” a temperatura mais elevada foi registada com a utilização da broca com um diâmetro de 4mm, seguindo-se a de 2mm e por último a broca com 3mm. Quanto ao material C-D a broca com um diâmetro de 4mm obteve novamente a temperatura mais alta, contudo a broca com 3mm registou uma temperatura ligeiramente superior à broca com um diâmetro de 2mm. Relativamente ao material T+D, o comportamento foi semelhante ao C-D mas com valores superiores, ou seja, a broca com 4mm obteve uma temperatura superior à broca com 3mm e esta temperatura superior à broca de 2mm. O material T-D também obteve um comportamento similar ao material C-D embora com temperaturas ligeiramente superiores, a broca com 4mm registou a temperatura mais elevada seguindo-se a broca de 3mm e posteriormente a de 2mm.

Observando a Tabela 2 pode-se verificar que quanto mais denso é o material mais elevados são os valores da temperatura nas brocas. Num material mais denso o esforço durante a furação é superior comparativamente a um material menos denso. Quanto à estrutura do material, esta também está relacionada com a produção ou não de apara, sendo que no caso em questão, o material mais denso não possui cavidades pelo que existe maior quantidade de apara em comparação aos materiais trabeculares.

Relativamente ao desvio-padrão, este possui valores mais elevados no material C+D. Comparando os diferentes materiais em relação ao diâmetro da broca os valores do desvio-padrão variam em concordância com a densidade, sendo que possui valores superiores no material “C+D” seguindo-se o material T+D, T-D e por fim o material C-D.

2.2.2. *Temperatura no material ósseo*

A utilização de termopares possibilitou a leitura e o registo da temperatura gerada no material. Conforme o esquema apresentado na Fig. 2, os termopares foram colocados a diferentes distâncias do furo principal para

verificação da dissipação do calor ao longo do material, mediante a estrutura óssea em questão. Nas figuras seguintes apresentam-se os resultados obtidos com os termopares, unicamente para o furo 1 dos 4 blocos em análise, Lado A do bloco, contemplando uma passagem de furação com a broca de 4mm.

Relativamente à furação com a broca de 4mm, Fig. 4 a 7, verifica-se que o material C+D apresenta a temperatura mais elevada, seguindo-se o material T+D, C-D e por fim o T-D. Analisando as imagens averigua-se que a distribuição da temperatura ao longo do material é dependente da densidade bem como da sua estrutura. Assim, constata-se que no material T-D a temperatura gerada

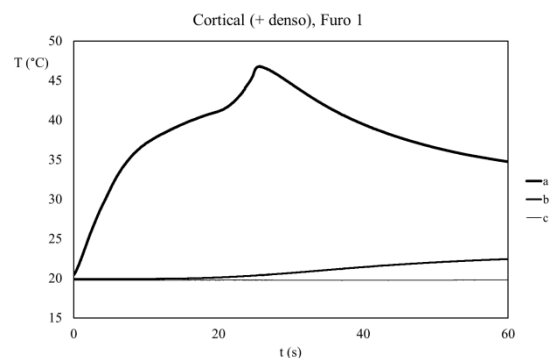


Fig. 4 – Material C+D, Lado A.

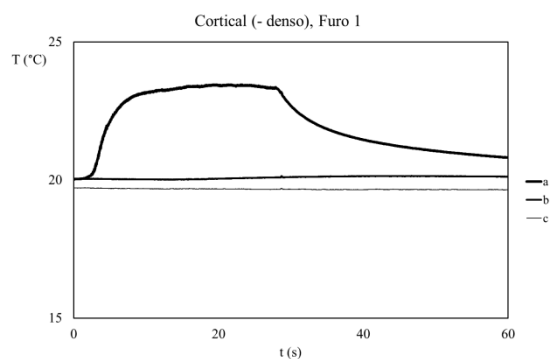


Fig. 5 – Material C-D, Lado A.

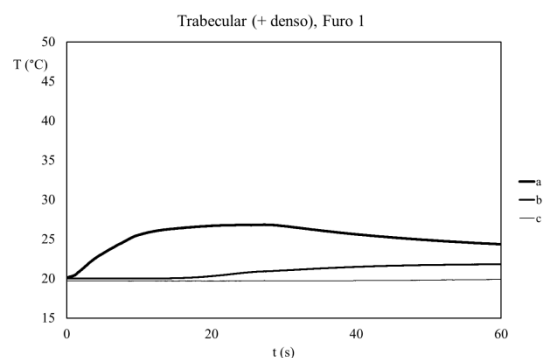


Fig. 6 – Material T+D, Lado A.

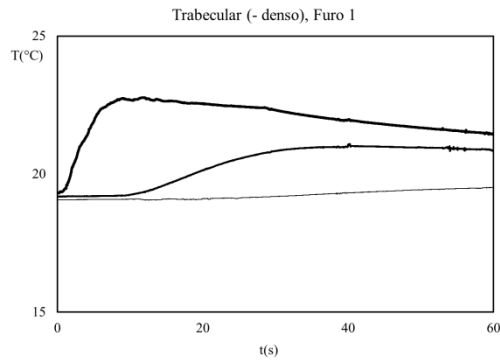


Fig. 7 – Material T-D, Lado A.

no osso espalha-se mais rapidamente uma vez que possui uma estrutura com diversas cavidades. Este facto verifica-se observando os dados registados pelos termopares colocados nas posições b e c (posições mais afastadas do furo principal).

Os resultados dos termopares para o Lado B dos blocos, considerando-se as três passagens na furação com brocas de 2, 3 e 4mm, são apresentados nas Fig. 8. a 11. Os resultados apresentados são para o furo 1 de cada material.

Analisando as Fig. 8 a 11 é possível verificar que o material que regista os valores mais elevados de temperatura é o material C+D, seguindo-se o material T+D,

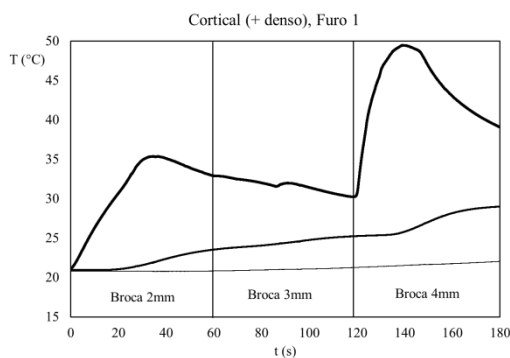


Fig. 8 – Material C+D, Lado B.

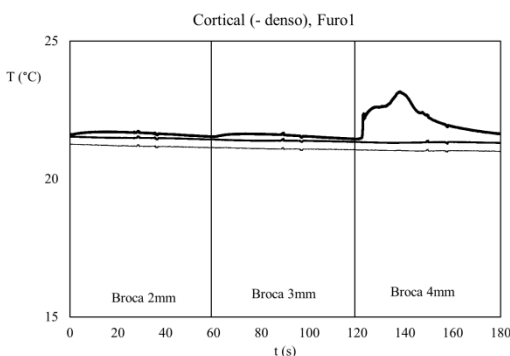


Fig. 9 – Material C-D, Lado B.

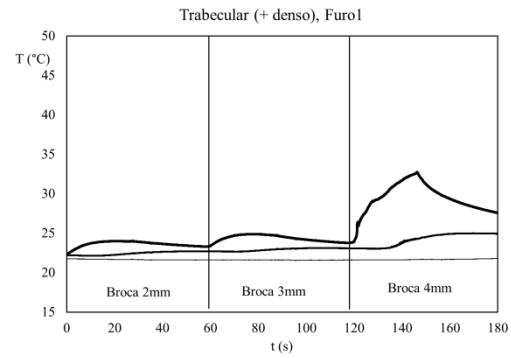


Fig. 10 – Material T+D, Lado B.

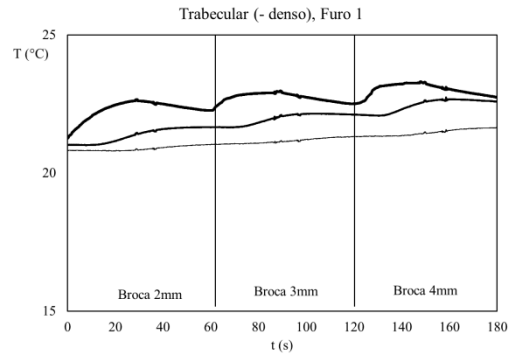


Fig. 11 – Material T-D, Lado B.

T-D e por último o C-D. Para o material C+D, a temperatura mais elevada foi registada com a utilização da broca de 4 mm, seguindo-se a de 2mm e a de 3mm. Nos restantes materiais as maiores temperaturas foram registadas com a broca de 4mm, tendo-se obtido temperaturas idênticas quando se utilizaram as brocas de 2 e 3mm.

Na Tabela 3 estão presentes os valores de temperatura dos picos máximos relativos aos lados A B, para obtenção de conclusões relativamente à influência das várias brocas antes da furação principal.

Tabela 3: Valores máximos da temperatura em °C.

Material	3 furações	1 furação
C+D	49.48	46.82
C-D	23.17	23.46
T+D	32.77	26.88
T-D	23.31	22.77

Analisando a Tabela 3 verifica-se que a temperatura toma maiores valores quando são feitas várias furações, exceto no material C-D.

2.2.3. Comparação entre os métodos

Para a comparação entre os dois métodos experimentais foram obtidos gráficos com o comportamento da temperatura na broca e no osso, para as diferentes densidades dos materiais. Para proceder ao registo da temperatura na broca foram considerados os valores obtidos com a câmara termográfica. Relativamente à temperatura no osso, foi efetuada a média das temperaturas das posições a, b e c (Fig. 2) obtida com os termopares.

Analisando os gráficos referentes aos materiais com maiores densidades, Fig. 12 e Fig. 13, verifica-se que no cortical mais denso foram registadas temperaturas superiores ao trabecular mais denso. Nos materiais com menor densidade, Fig. 14 e Fig. 15, verifica-se um comportamento semelhante.

Na análise das Fig. 12 a 15 verifica-se que a temperatura na broca é quase sempre superior à temperatura no material ósseo. Apenas no caso do material C-D, furo 5 com um diâmetro de 4mm é que tal facto não acontece, pela ocorrência de erro associado à leitura dos termopares.

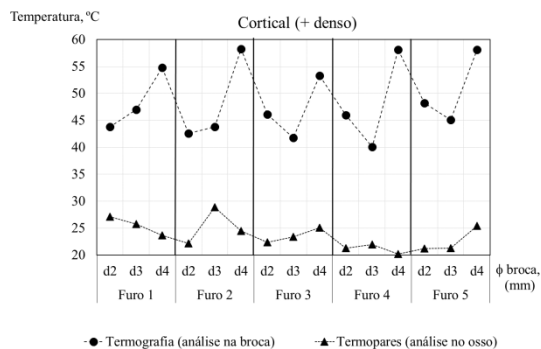


Fig. 12 – Comparação dos métodos, material C+D.

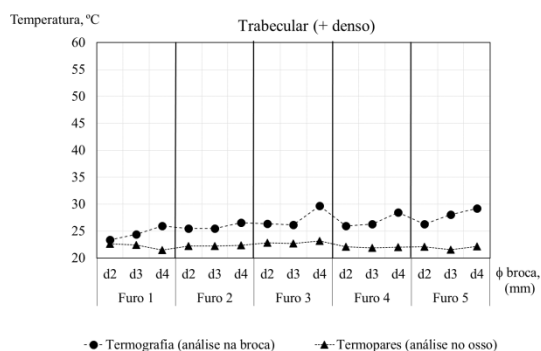


Fig. 13 – Comparação dos métodos, material T+D.

Na Fig. 16 verifica-se que, relativamente à temperatura registada na broca, o material com uma maior densidade, C+D, possui os valores mais elevados. Nos restantes materiais verifica-se que o material com maior densidade T+D, seguidamente ao C+D, regista valores de temperatura superiores aos de menor densidade. É possível concluir que quanto mais denso for o material, e caso não existam cavidades, maior a temperatura registada na broca. Isto justifica-se pelo maior esforço necessário a ser efetuado pela broca durante o corte e a produção de apra.

Quanto à temperatura registada no material verificam-se algumas variações. Contudo

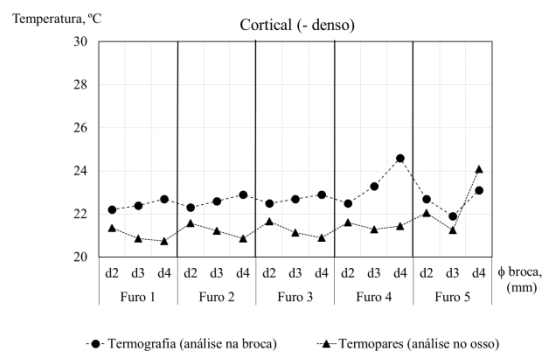


Fig. 14 – Comparação dos métodos, material C-D.

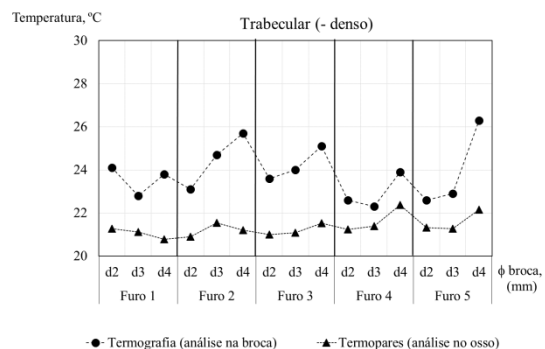


Fig. 15 – Comparação dos métodos, material T-D.

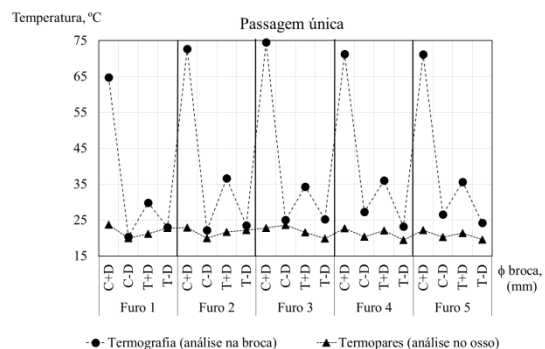


Fig. 16 – Comparação nos diferentes materiais.

na maioria dos casos o material mais denso apresenta os valores mais altos de temperatura.

2.3. Componente Numérica

Para efetuar a simulação numérica recorreu-se ao programa de elementos finitos, o Ansys. Foi elaborado um modelo geométrico idêntico aos blocos, considerando apenas um furo. Foi utilizado o elemento finito Solid 70, presente na Fig. 17. O elemento Solid 70 é um elemento térmico 3D com capacidade de condução de calor e tem como opção a formação de elementos tetraédricos.

Na Fig. 18 está representada a malha de elementos finitos do modelo em estudo com um furo. Nela se encontra representado o tecido ósseo e a broca em aço.

Foram efetuadas diferentes simulações para cada tipo de material. Na Tabela 4 encontram-se as propriedades dos materiais ósseos e do aço da broca (Fonseca et al. 2013; Lee et al. 2012; EUROCODE 1995).

A análise efetuada é térmica e em regime transiente, para um tempo de furação de 60 segundos.

A simulação numérica tem por objetivo comparar os resultados obtidos experimental-

Tabela 4: Propriedades dos materiais ósseos e aço.

Material	ρ (kg/m ³)	λ (W/mK)	cp (J/kgK)
C+D	800	0.40	1260.0
C-D	80	0.54	1260.0
T+D	320	0.40	1300.0
T-D	120	0.54	1490.0
Aço	7850	53.00	439.8

ρ =massa específica; λ =condutividade; cp=calor específico

mente, pelo que é necessário ter em consideração os processos que ocorrem durante a furação. Assim, foi tida em consideração a propagação de calor gerada através de um fluxo de calor pela broca, q . O fluxo de calor é calculado através da Eq. (1) (Monteiro et al. 2013; Basiaga et al. 2011; Magalhães et al. 2013):

$$q = \frac{P_c}{V} \text{ (W/m}^3\text{)} \quad (1)$$

onde P_c representa a potência total de corte e V o volume.

Na expressão apresentada, P_c pode ser obtida através da combinação da potência derivada da torção ao corte, P_M , e a potência derivada da força de corte, P_f , como é demonstrada na Eq. (2).

$$P_c = P_f + P_M \text{ (W)} \quad (2)$$

Estas duas potências são calculadas através da Eq. (3) e da Eq. (4).

$$P_f = V_f \times F_{fw} \text{ (W)} \quad (3)$$

$$P_M = \frac{M_w \times n \times 2\pi}{60} \text{ (W)} \quad (4)$$

Na Eq. (3) V_f representa a velocidade de corte (m/s) e F_{fw} a força de corte (N). Na Eq. (4) M_w descreve o momento torsor, M_n , e n a velocidade de rotação (rpm), impostos durante a furação. Através das equações apresentadas, conclui-se que para o cálculo do fluxo de calor é necessário considerar as diferentes características do processo de furação, Tabela 5, (Monteiro et al. 2013; Basiaga et al. 2011).

Após o cálculo do fluxo de calor obtêm-se os valores presentes na Tabela 6, impostos como condições de fronteira térmica no mo-

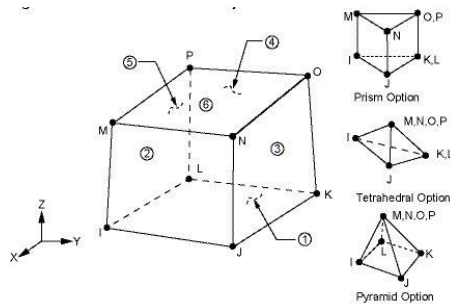


Fig. 17 – Elemento Solid 70.

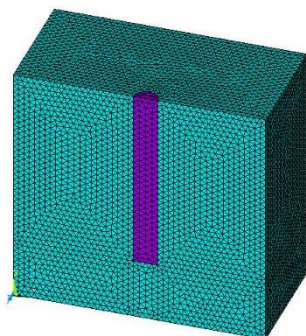


Fig. 18 – Modelo com malha.

Tabela 5: Parâmetros utilizados na furação.

	C+D	C-D	T+D	T-D
d (m)		4		
l (m)		3		
V_f (m/s)		0,000833333		
n (rpm)		800		
F_{fw} (N)		35		
Mw(Nm)	0,009	0,0009	0,0036	0,00135

Tabela 6: Fluxo de calor calculado.

Material	q (W/m ³)
C+D	4154733,972
C-D	554733,9725
T+D	1754733,972
T-D	754733,9725

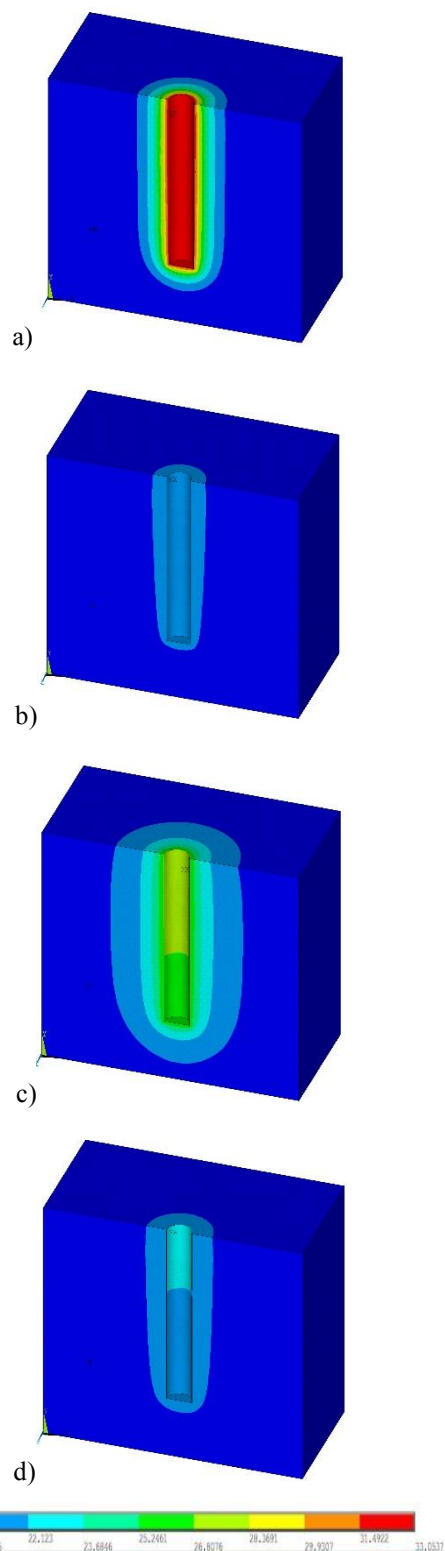
delo em aço representativo da broca. Considerou-se que todo o modelo, material e broca, se encontravam a uma temperatura inicial de 19°C, valor obtido com as imagens termográficas. Na superfície superior do tecido ósseo foi considerada convecção natural.

Na Fig. 19 encontram-se os resultados obtidos nos diferentes materiais no instante de tempo igual a 30s, instante em que ocorre a máxima temperatura.

Analisando a Fig. 19 verifica-se que para o mesmo instante de tempo a temperatura registada toma diferentes valores mediante o tipo de material. O material C+D é o material que regista os maiores valores de temperatura seguindo-se o T+D, T-D e por fim o C-D. Quanto mais denso é o material maiores são os valores da temperatura e a libertação de calor ocorre mais facilmente nos materiais trabeculares.

Para comparação dos valores numéricos de temperatura com os valores experimentais dos termopares foram consideradas três posições nodais, conforme se apresenta nas figuras seguintes. Estes gráficos permitem visualizar os dados recorrendo aos termopares (a, b, c) com os obtidos pela simulação numérica (A, B, C).

Nos gráficos das Fig. 20 a 23 pode constatar-se a existência de concordância entre os métodos experimental e numérico.

**Fig. 19** – Simulações numéricas: a) C+D; b) C-D; c) T+D; d) T-D.

A simulação computacional revela-se como um método alternativo ao método experimental, permitindo a obtenção de resultados num tempo mais curto e com menor necessidade a recursos.

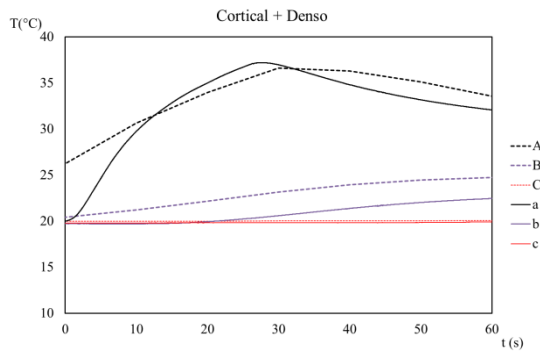


Fig. 20 – Modelo experimental e numérico, C+D.

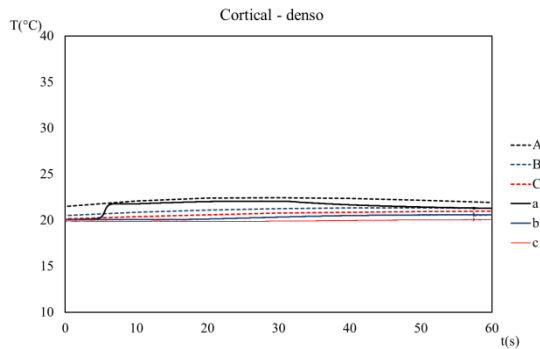


Fig. 21 – Modelo experimental e numérico, C-D.

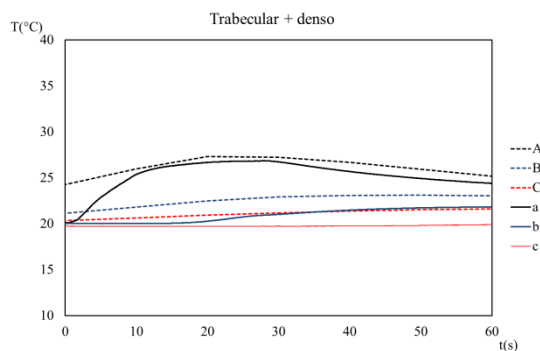


Fig. 22 – Modelo experimental e numérico, T+D.

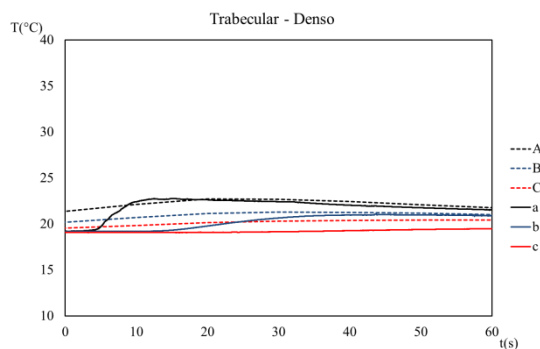


Fig. 23 – Modelo experimental e numérico, T-D.

3. CONCLUSÃO

Atendendo à componente experimental é possível concluir que a temperatura na broca aumenta consoante a densidade e a

estrutura do material, se o material for mais denso a temperatura na broca é mais elevada do que no material menos denso. Se o material possuir cavidades na sua estrutura a temperatura na broca não é tão elevada como no material compacto. Relativamente à avaliação da temperatura no material conclui-se que o material C+D possui os maiores valores de temperatura, seguindo-se o material T+D, T-D e por último o C-D. Comparando os gráficos referentes à utilização das três brocas com os da passagem única verifica-se que as temperaturas são ligeiramente inferiores na passagem única, exceto no material C-D. No entanto, considera-se que seria necessária uma avaliação mais aprofundada para se concluir se o uso de várias brocas influencia o aumento de temperatura.

Foi ainda possível verificar a dependência da distribuição da temperatura com a densidade e a estrutura do material. Constatou-se que no material T-D a temperatura gerada no osso dissipa-se mais rapidamente quando comparada com os restantes materiais, uma vez que possui uma estrutura com diversas cavidades.

Comparando os dois métodos experimentais utilizados é possível observar que a temperatura na broca é sempre superior à temperatura no material. Atendendo aos registos da câmara termográfica e ao tratamento dos resultados obtidos com os termopares pode-se concluir que não ocorreu necrose térmica em nenhum material, uma vez que a temperatura nunca foi superior a 50°C.

Relativamente à componente numérica verifica-se que os resultados obtidos são próximos dos obtidos experimentalmente. Este facto permite concluir que, a utilização de modelos numéricos podem ser utilizados de forma rápida e para a verificação em simultâneo de diferentes variáveis.

Após a elaboração deste trabalho conclui-se que a técnica de termografia poderia ser útil se usada durante a técnica de implantologia, por ser de fácil utilização. Este trabalho permitiu concluir que a temperatura na broca é superior à

temperatura no osso. Desta forma, a análise das imagens termográficas permitem verificar a ocorrência da necrose térmica e simultaneamente permitir a intervenção do profissional.

4. REFERÊNCIAS

- Basiaga, M., Paszenda, Z., Szewczenko, J. e Kaczmarek, M. 2011. Numerical and experimental analyses of drills used in osteosynthesis, *Acta of Bioengineering and Biomechanics*, vol. 13.
- EUROCODE 3, Design of steel structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design, ENV 1993 – 1-2:1995.
- Fonseca, E., Magalhães, K., Fernandes, M., Barbosa, M., Sousa, G. 2014. Numerical Model of Thermal Necrosis due a Dental Drilling Process, In Natal Jorge et al (Eds), *Biodental Engineering II*, Taylor & Francis Group: 69-73.
- Fonseca, E.M.M., Magalhães, K., Fernandes, M.G., Sousa, G., Barbosa, M.P. 2013. The Assessment of the Thermal Necrosis due a Drilling Dental Process with or without Irrigation, *IEEE 3rd Portuguese Meeting in Bioengineering (ENBENG)*: 157-159.
- Hillery, M.T. et al. 1999. Temperature effects in the drilling of human and bovine bone, *Journal of Materials Processing Technology*, p. 302-308.
- Lee, O. J., Ozdoganlar, Y. R, B, 2012. An experimental investigation on thermal exposure during bone drilling, *Medical Engineering & Physics*, p.1513.
- Magalhães, K., Fonseca, E.M.M, Monteiro, D. 2013. Metodologia para determinação da elevação da temperatura por cimentação ou furação num modelo dentário, 5º Congresso Nacional de Biomecânica, Portugal, ISBN 978-989-96276-3-5.
- Monteiro, D.C.A., Fonseca, E.M.M, Barreira, L.M.S., Magalhães, K., 2013. Metodologia para Determinação da Necrose Térmica por Furação num Modelo 3D de uma Mandíbula Humana. Renato Natal et al (Eds), *Actas 5º Congresso Nacional de Biomecânica*: 217-221.
- Sousa, P.F.B.D. 2009. Estudos de processos térmicos decorrentes da usinagem: aplicação de problemas inversos em furação, Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia.